



(10) **DE 10 2011 000 737 A1** 2012.08.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 000 737.7**

(22) Anmeldetag: **15.02.2011**

(43) Offenlegungstag: **16.08.2012**

(51) Int Cl.: **H02N 6/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

SMA Solar Technology AG, 34266, Niestetal, DE

(74) Vertreter:

**Patent- und Rechtsanwälte Loesenbeck, Specht,
Dantz, 33602, Bielefeld, DE**

(72) Erfinder:

Hopf, Markus, 34314, Espenau, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2005 018 173 A1

DE 10 2006 060 815 A1

DE 10 2008 008 505 A1

DE 10 2009 022 508 A1

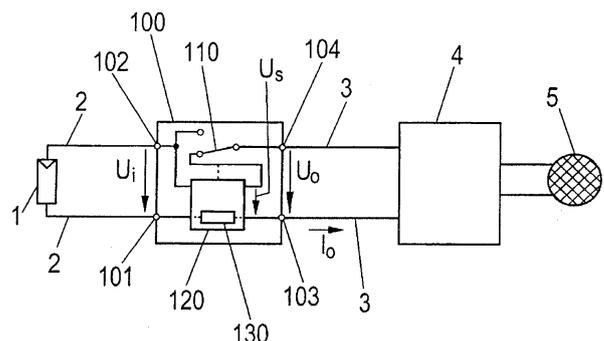
DE 10 2010 037 760 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Schutzeinrichtung für eine Photovoltaikanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Schutzeinrichtung (100) für eine Photovoltaikanlage weist mindestens einen Eingang (101, 102) zur Verbindung mit einem Photovoltaikgenerator (1) und mindestens einen Ausgang (103, 104) zur Abgabe eines von dem Photovoltaikgenerator (1) gelieferten Stroms (I_o) auf. Die Schutzeinrichtung (100) zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine Strommesseinrichtung (130) für einen an dem mindestens einen Ausgang (130, 104) abgegebenen Strom (I_o) umfasst und dazu eingerichtet ist, an dem mindestens einen Ausgang (103, 104) eine in ihrer Höhe begrenzte Kleinspannung (U_s) bereitzustellen, falls der abgegebene Strom (I_o) kleiner als ein unterer Schwellenwert (I_{su}) ist, und den mindestens einen Ausgang (103, 104) über ein Schaltorgan (110) niederohmig mit dem mindestens einen Eingang (101, 102) zu verbinden, wenn der abgegebene Strom (I_o) größer oder gleich einem oberen Schwellenwert (I_{so}) ist, wobei der obere Schwellenwert (I_{so}) größer oder gleich dem unteren Schwellenwert (I_{su}) ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schutzeinrichtung für eine Photovoltaikanlage, die mindestens einen Eingang zur Verbindung mit einem Photovoltaikgenerator und mindestens einen Ausgang zur Abgabe eines von dem Photovoltaikgenerator gelieferten Stroms aufweist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Photovoltaikmodul mit einer Schutzeinrichtung und ein Betriebsverfahren für eine Schutzeinrichtung einer Photovoltaikanlage.

[0002] Photovoltaikanlagen, im Folgenden abkürzend PV-Anlagen genannt, dienen der Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie. Üblicherweise wird dazu eine Vielzahl von Photovoltaikmodulen, im Folgenden abkürzend PV-Module genannt, von denen jedes eine Zusammenschaltung von mehreren Photovoltaikzellen darstellt, elektrisch als ein Photovoltaikgenerator zusammengeschaltet. Der Photovoltaikgenerator (PV-Generator) ist mit einem häufig entfernt montierten Wechselrichter verbunden, der der Umwandlung des von dem PV-Generator gelieferten Gleichstroms in Wechselstrom dient, welcher zur Einspeisung in ein öffentliches oder privates (Inselbetrieb) Stromversorgungsnetz geeignet ist.

[0003] Die PV-Module werden dabei meist derart serienverschaltet, dass die zwischen dem PV-Generator und dem Wechselrichter verlaufenden Gleichstromleitungen mit Spannungen im Bereich von deutlich mehr als 100 V beaufschlagt sind. Eine Spannung dieser Größenordnung ist aus Effizienzgründen sinnvoll, unter anderem um ohmsche Verluste in den Leitungen erträglich klein zu halten, ohne dass ein allzu großer Leitungsquerschnitt gewählt werden muss. Bei Lichteinfall auf die PV-Module besteht aufgrund der hohen Spannung jedoch bei Schadensfällen, z. B. im Brandfall, oder bei Installations- und Wartungsarbeiten die Gefahr eines lebensgefährlichen elektrischen Schlags. Ohne weitere Schutzmaßnahmen lässt sich die Lebensgefahr bei einer direkten Berührung oder einer indirekten Berührung, z. B. über Löschwasser, nur bannen, wenn die Stromerzeugung durch die PV-Module unterbunden wird, beispielsweise durch eine Verdunkelung der PV-Module. Dieses ist bei großen PV-Anlagen oder im Brandfall allerdings nur schwer umsetzbar.

[0004] Ein weiteres Problem bei PV-Anlagen stellt aufgrund der hohen Gleichspannung in Verbindung mit hohen Gleichströmen, die von den PV-Modulen zum Wechselrichter fließen, die Gefahr einer Lichtbogenbildung dar. Lichtbögen können beispielsweise bei Wartungsarbeiten (Trennen einer stromdurchflossenen Leitung) bei einer Degradation von Kontakten an Schraub- oder Steckverbindern, an schlechten Lötstellen oder schlechten Schraubverbindungen oder bei einer beschädigten Leitungsisolation entstehen. Ein Löschen eines entstandenen Lichtbogens ist

üblicherweise nur durch eine drastische Reduzierung des über den Lichtbogen fließenden Stromes möglich.

[0005] Um beim Betrieb einer PV-Anlage das Auftreten von gefährlichen Spannungen im Brandfall oder bei Wartungsarbeiten zu vermeiden, ist es bekannt, in räumlicher Nähe zu den PV-Modulen, beispielsweise in einer Anschlussdose des PV-Moduls, Schaltorgane, z. B. Schütze oder Halbleiterschalter, zuzuordnen, die vom Wechselrichter oder einer sonstigen Steuerzentrale über Zentralleitungen geschaltet die Verbindungsleitungen zwischen den PV-Modulen und dem Wechselrichter spannungslos schalten. Dieses kann durch eine Unterbrechung der Verbindungsleitungen durch die Schaltorgane geschehen oder durch ein Kurzschließen der PV-Module, wie beispielsweise in der Zeitschrift Photon, Ausgabe Mai 2005, S. 75–77 offenbart. Die Verbindungsleitungen zwischen dem PV-Generator und dem Wechselrichter können auch, wie in der Druckschrift DE 10 2005 018 173 A1 offenbart, durch ein einzelnes, am PV-Generator angeordnetes Schaltorgan spannungslos geschaltet werden.

[0006] Zur Übertragung der Steuersignale zu den Schaltorganen werden dabei zusätzlich verlegte Steuerleitungen eingesetzt, was jedoch, insbesondere bei großen PV-Anlagen, mit einem erhöhten Installationsaufwand einhergeht. Als Alternative ist aus der Druckschrift DE 10 2006 060 815 A1 bekannt, die Steuersignale als Hochfrequenzsignale über die Gleichstromleitungen zur Leistungsübertragung zu senden. Die Schaltorgane sind zu diesem Zweck mit einer Steuereinheit versehen, die die hochfrequent übertragenen Steuersignale dekodiert und den Schaltvorgang steuert. Auch diese Lösung ist aufwendig und zur Unterbrechung von auftretenden Lichtbögen nur bedingt geeignet, da Lichtbögen ihrerseits ein starkes hochfrequentes Störspektrum erzeugen, das eine sichere Dekodierung der aufgegebenen hochfrequenten Steuersignale stören kann.

[0007] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Schutzeinrichtung für eine PV-Anlage zu schaffen, die bei einfachem Aufbau zuverlässig und sicher verhindert, dass die von einem PV-Generator zu einem Wechselrichter führenden Gleichspannungsleitungen im Gefahrenfall mit hohen Spannungen beaufschlagt sind. Es ist eine weitere Aufgabe, ein Betriebsverfahren für eine solche Schutzeinrichtung anzugeben und ein PV-Modul zu schaffen, mit dem eine sichere PV-Anlage aufgebaut werden kann.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Schutzeinrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst, sowie durch ein PV-Modul mit den Merkmalen des Anspruchs 12 und ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15. Weiterbildungen und

vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0009] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung weist die Schutzeinrichtung gemäß dem eingangs genannten Oberbegriff eine Strommesseinrichtung für einen an ihrem Ausgang gelieferten Strom auf und ist dazu eingerichtet, dass am Ausgang eine in ihrer Höhe begrenzte Kleinspannung bereitgestellt wird, falls der am Ausgang abgegebene Strom kleiner als ein unterer Schwellenwert ist, und dass der Ausgang über ein Schaltorgan niederohmig mit dem mindestens einen Eingang verbunden ist, falls der am Ausgang abgegebene Strom größer oder gleich einem oberen Schwellenwert ist, wobei der obere Schwellenwert größer oder gleich dem unteren Schwellenwert ist.

[0010] Die Schutzeinrichtung, die bevorzugt räumlich möglichst nah am PV-Generator angeordnet ist und mit ihrem Eingang mit dem PV-Generator und mit ihrem Ausgang mit einem ggf. entfernt positionierten Wechselrichter verbunden ist, beaufschlagt den Ausgang im unbelasteten Fall nur mit der ungefährlichen Kleinspannung. Erst wenn der Wechselrichter seien mit dieser Kleinspannung beaufschlagten Gleichstromeingang belastet und ein über dem oder am oberen Schwellenwert liegender Stromfluss am Ausgang der Schutzeinrichtung detektiert wird, verbindet die Schutzeinrichtung den Ausgang über das Schaltorgan niederohmig mit ihrem Eingang und beaufschlagt so die Gleichstrom-Verbindungsleitung zum Wechselrichter mit der vollen Spannung des PV-Generators. Bei Abschaltung des Wechselrichters, z. B. im Gefahrenfall, oder bei Nichtbelasten der Gleichspannungsausgangsseite durch den Wechselrichter, fällt der in der Schutzeinrichtung detektierte Strom wiederum unter den unteren Schwellenwert. Eingang und Ausgang der Schutzeinrichtung werden durch das Schaltorgan voneinander getrennt und der Ausgang ist wiederum nur mit der ungefährlichen Kleinspannung beaufschlagt. Die Schwellenwerte für den Stromfluss sollten dabei derart gewählt werden, dass ein Verbinden des Ausgangs der Schutzeinrichtung mit dem Eingang durch Berührung der Gleichstrom-Verbindungsleitungen, durch einen stark verringerten Isolationswiderstand oder durch die Leitfähigkeit von (Lösch-)Wasser ausgeschlossen ist.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Schutzeinrichtung weist diese einen weiteren Eingang auf, um eine Teilspannung des PV-Generators zur unmittelbaren Bereitstellung oder zur Erzeugung der Kleinspannung zuzuführen. Auf diese Weise kann die Kleinspannung besonders ökonomisch ohne oder nur mit minimalen Wandelverlusten bereitgestellt werden.

[0012] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Schutzeinrichtung ist die Kleinspannung

über einen Vorwiderstand hochohmig auf den mindestens einen Ausgang geschaltet. Dadurch wird erreicht, dass sich bei mehreren, an ihren Ausgängen parallel geschalteten Schutzeinrichtungen bei Belastung der Kleinspannung ein Stromfluss an jeder der Schutzeinrichtungen einstellt und so jede der Schutzeinrichtungen ihre Schaltfunktion ausführen kann.

[0013] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Schutzeinrichtung weist diese eine Einrichtung zur Lichtbogenerkennung auf, die mit dem Schaltorgan zu dessen Steuerung verbunden ist. Bevorzugt ist die Einrichtung zur Lichtbogenerkennung derart mit dem Schaltorgan verbunden, dass das Schaltorgan trennt, wenn ein Lichtbogen erkannt wird. Auf diese Weise kann die Schutzeinrichtung auch zum automatischen Löschen von Lichtbögen eingesetzt werden. Die Integration von Spannungsschutz und der Lichtbogenlöschung in der Schutzeinrichtung ermöglicht einen ökonomischen Einsatz von Bauelementen, z. B. solchen Elementen wie dem Schaltorgan, das in beiden Fällen zum Einsatz kommt.

[0014] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch ein PV-Modul gelöst, das eine derartige integrierte Schutzeinrichtung aufweist. Ein solches PV-Modul kann auf gleiche Art und Weise wie bekannte PV-Module innerhalb von PV-Anlagen eingesetzt werden und bietet ohne weitere Vorkehrungen die im Zusammenhang mit der Schutzeinrichtung zuvor beschriebenen Vorteile.

[0015] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des PV-Moduls ist die Schutzeinrichtung in einer Anschlussdose des PV-Moduls angeordnet, was eine besonders kompakte Bauform ermöglicht.

[0016] Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe durch ein Betriebsverfahren für eine Schutzeinrichtung einer PV-Anlage gelöst, wobei die Schutzeinrichtung mindestens einen Eingang zur Verbindung, mit einem PV-Generator und mindestens einen Ausgang zur Abgabe einer von dem PV-Generator bereitgestellten elektrischen Leistung aufweist. Das Betriebsverfahren hat folgende Schritte: Der mindestens eine Ausgang wird mit einer Kleinspannung beaufschlagt und ein an dem mindestens einen Ausgang abgegebener Strom wird gemessen. Der mindestens eine Ausgang wird mit einer Betriebsspannung zur Abgabe der gesamten von dem PV-Generator bereitgestellten elektrischen Leistung beaufschlagt, wenn der abgegebene Strom größer oder gleich einem oberen Schwellenwert ist. Fällt der abgegebene Strom unter einen unteren Schwellenwert, der kleiner oder gleich dem oberen Schwellenwert ist, wird der Ausgang erneut mit der Kleinspannung beaufschlagt. Die Vorteile entsprechen denen des ersten und zweiten Aspekts.

[0017] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen mit Hilfe von sechs Figuren näher erläutert.

[0018] Die Figuren zeigen:

[0019] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer PV-Anlage mit einer Schutzeinrichtung in einem ersten Ausführungsbeispiel;

[0020] [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm eines Betriebsverfahrens einer Schutzeinrichtung;

[0021] [Fig. 3](#) ein Schaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Schutzeinrichtung;

[0022] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer PV-Anlage mit mehreren Schutzeinrichtungen;

[0023] [Fig. 5](#) ein Schaltbild eines dritten Ausführungsbeispiels einer Schutzeinrichtung und

[0024] [Fig. 6](#) ein Schaltbild eines vierten Ausführungsbeispiels einer Schutzeinrichtung.

[0025] [Fig. 1](#) zeigt schematisch den Grundaufbau einer PV-Anlage mit einer Schutzeinrichtung in einem ersten Ausführungsbeispiel.

[0026] Die PV-Anlage weist einen PV-Generator **1** auf, der über Anschlussleitungen **2** mit Eingängen **101** und **102** einer Schutzeinrichtung **100** verbunden ist. Die Schutzeinrichtung **100** weist zudem Ausgänge **103** und **104** auf, von denen Gleichstromleitungen **3** zu einem Wechselrichter **4** führen, der mit einem Stromversorgungsnetz **5** verbunden ist.

[0027] Beispielhaft ist der PV-Generator **1** in der [Fig. 1](#) durch das Schaltzeichen einer einzelnen Photovoltaikzelle symbolisiert. In einer Umsetzung der dargestellten PV-Anlage kann es sich bei dem PV-Generator **1** um ein einzelnes PV-Modul handeln, das seinerseits eine Vielzahl von Photovoltaikzellen enthält. Ebenso kann es sich bei dem PV-Generator **1** auch um eine Serienschaltung mehrerer PV-Module handeln, einem sogenannten String, bei dem sich die Spannungen der einzelnen PV-Module addieren. Auch eine Parallelerschaltung oder eine gemischte Serien- und Parallelerschaltung von PV-Modulen ist möglich.

[0028] Die vom PV-Generator **1** bereitgestellte Spannung wird als Eingangsspannung U_i der Schutzeinrichtung **100** zugeführt. Beispielhaft sei der Eingang **101** mit negativem und der Eingang **102** mit demgegenüber positivem Potential beaufschlagt. Die von der Schutzeinrichtung **100** an den Ausgängen **103** und **104** abgegebene Spannung wird im Folgenden als Ausgangsspannung U_o bezeichnet.

[0029] Der Ausgang **103** ist im gezeigten Ausführungsbeispiel permanent niederohmig über eine Strommesseinrichtung **130** mit dem Eingang **101** verbunden, wohingegen der Ausgang **104** über ein Schaltorgan **110** mit dem Eingang **102** verbindbar ist. Die Strommesseinrichtung **130** ist Teil einer Steuereinheit **120** der Schutzeinrichtung **100**, die von der an den Eingängen **101**, **102** anliegenden Eingangsspannung U_i versorgt wird. Die Steuereinheit **120** steuert zum einen das Schaltorgan **110** abhängig von einem von der Strommesseinrichtung **130** in diesem Ausführungsbeispiel an dem Ausgang **103** gemessenen Stroms I_o und stellt zum anderen eine Kleinspannung U_s , auch Schutzspannung U_s genannt, bereit, die an den Ausgängen **103**, **104** anliegt, wenn der Ausgang **104** nicht mit dem Eingang **102** verbunden ist. Zu diesem Zweck ist das Schaltorgan **110** in diesem Ausführungsbeispiel als Umschalter ausgeführt.

[0030] Wie unten detaillierter ausgeführt ist, verhindert die Schutzeinrichtung im Gefahrenfall das Auftreten von gefährlich hohen Spannungen an ihren Ausgängen **103**, **104** und somit an den Gleichstromleitungen **3**, die zum Wechselrichter **4** führen. Da der PV-Generator **1** bei Lichteinstrahlung unabhängig davon die Anschlussleitungen **2** mit einer Spannung von u. U. lebensgefährlicher Höhe beaufschlagt, wird die Schutzeinrichtung **100** bevorzugt möglichst nah am PV-Generator **1** positioniert, um die Länge der Anschlussleitungen **2** entsprechend kurz zu halten.

[0031] Im Folgenden wird anhand eines Flussdiagramms in [Fig. 2](#) ein Betriebsverfahren für eine Schutzeinrichtung erläutert, wobei beispielhaft und nicht einschränkend auf die in [Fig. 1](#) schematisch dargestellte Schutzeinrichtung verwiesen wird.

[0032] Es wird von einem Startpunkt des Verfahrens ausgegangen, zu dem der PV-Generator **1** keine oder nur eine vernachlässigbar kleine Ausgangsspannung liefert, z. B. nachts. Die Ausgangsspannung des PV-Generators **1** wird als Eingangsspannung U_i über die Eingänge **101** und **102** der Schutzeinrichtung **100** zugeführt. Steigt diese Eingangsspannung U_i nun aufgrund von wachsender Einstrahlungsintensität am PV-Generator **1** an, wird auch die Steuereinheit **120** der Schutzeinrichtung **100** ausreichend mit Betriebsspannung versorgt.

[0033] Die Steuereinrichtung **120** stellt daraufhin in einem ersten Schritt S1 an den Ausgängen **103** und **104** der Schutzeinrichtung **100** eine Kleinspannung U_s bereit, deren Höhe unabhängig von der Eingangsspannung U_i einen für Gleichspannungen ungefährlichen Wert nicht übersteigt. Die Kleinspannung U_s kann beispielsweise einige Volt bis einige 10 V betragen. Wichtig ist, dass die Kleinspannung U_s im Bereich der sogenannten Schutzkleinspannungen liegt. Spannungen in diesem Bereich, der bei Gleichspannung bis etwa 120 V reicht, gelten bei Berührung als

nicht lebensbedrohlich. Mit Bezug auf das Ausführungsbeispiel der [Fig. 4](#) wird vorab bemerkt, dass bei einer Serienschaltung mehrerer Schutzeinrichtungen **100** zu berücksichtigen ist, dass die Summe der Kleinspannungen U_s der einzelnen Schutz-einrichtungen **100** im Bereich der Schutzkleinspannungen liegt. Die Kleinspannung U_s liegt als Ausgangsspannung U_o an den Gleichstromleitungen **3** und dem Wechselrichter **4** an.

[0034] Es kann vorgesehen sein, dass die Höhe der Kleinspannung U_s ab einer bestimmten Eingangsspannung U_i unabhängig von der Eingangsspannung und damit von der Lichtintensität ist, mit der der PV-Generator **1** bestrahlt wird. Alternativ ist es möglich, die Höhe der Kleinspannung U_s abhängig von der Höhe der Eingangsspannung U_i zu machen, z. B. proportional zu dieser oder proportional innerhalb eines vorgegebenen Eingangsspannungsbereichs. Auf diese Weise wird dem Wechselrichter **4** über die Höhe der Kleinspannung U_s Information über die Einstrahlungsintensität übermittelt, die dieser zur Steuerung seines eigenen Betriebszustands auswerten kann.

[0035] In einem nächsten Schritt S2 wird von der Steuereinheit **120** mittels der Strommesseinrichtung **130** die Größe des Stroms I_o am Ausgang **103** bzw. **104** der Schutzeinrichtung **100** gemessen.

[0036] In einem weiteren Schritt S3 wird dieser Strom I_o mit einem vorgegebenen unteren Schwellenwertstrom I_{su} verglichen. Wenn der Strom I_o unterhalb des unteren Schwellenwertes I_{su} liegt, verzweigt das Verfahren zu einem Schritt S4, in dem das Schaltorgan **110** ausgeschaltet wird bzw. ausgeschaltet bleibt. Als Folge liegt an den Ausgängen **103**, **104** als Ausgangsspannung U_o nach wie vor die Kleinspannung U_s an. Das Verfahren springt daraufhin zurück zum Schritt S2, in dem wiederum der Strom I_o gemessen wird. Falls der Strom I_o dagegen im Schritt S3 größer oder gleich dem unteren Schwellenwert I_{su} ist, verzweigt das Verfahren zu einem nächsten Schritt S5.

[0037] In dem Schritt S5 wird der Strom I_o mit einem vorgegebenen oberen Schwellenwertstrom I_{so} verglichen. Der Wechselrichter **4** ist – wie üblich bei Wechselrichtern – dazu ausgelegt, bei Detektion einer an seinem Gleichstromeingang anliegenden Spannung diesen Gleichstromeingang zu belasten, um dem PV-Generator elektrische Leistung zu entnehmen, die in Form von Wechselstrom in das Stromversorgungsnetz **5** eingespeist werden kann.

[0038] Die Belastung des Gleichstromeingangs des Wechselrichters **4** führt zu einem den Schwellenwertstrom I_{so} erreichenden oder übersteigenden Strom I_o an den Ausgängen **103**, **104** der Schutzeinrichtung **100**. Von Schritt S5 verzweigt das Verfahren in die-

sem Fall zu einem Schritt S6, in dem die Steuereinheit **120** das Schaltorgan **110** einschaltet. Über das Schaltorgan **110** ist der Eingang **102** dann niederohmig mit dem Ausgang **104** verbunden. Da in diesem Ausführungsbeispiel der Eingang **101** dauerhaft niederohmig mit dem Ausgang **103** verbunden ist, stellt sich an den Ausgängen **103**, **104** als Ausgangsspannung U_o im Wesentlichen die Eingangsspannung U_i , d. h. die vom PV-Generator **1** bereitgestellte Spannung, als Betriebsspannung ein. Aufgrund der niederohmigen Verbindung zwischen den Eingängen **101**, **102** und den Ausgängen **103**, **104** kann im Wesentlichen die gesamte vom PV-Generator **1** bereitgestellte elektrische Leistung über die Gleichstromleitungen **3** zum Wechselrichter **4** geführt werden, ebenso wie es bei einer direkten Verbindung des PV-Generators **1** mit dem Wechselrichter **4** ohne die Schutz-einrichtung **100** der Fall wäre. Der das Einschalten des Schaltorgans **110** hervorrufende Anstieg des Stroms I_o kann seine Ursache auch in einem Anlaufen einer Stromversorgungseinheit oder eines Hochsetzstellers des Wechselrichters **4** haben. Auch ist es möglich, dass der Wechselrichter **4** aktiv eine Belastung seines Gleichstromeingangs vornimmt, die gewissermaßen als Steuersignal für die Schutz-einrichtung **100** dient. Nach dem Einschalten des Schaltorgans **110** im Schritt S6 springt das Verfahren zurück zum Schritt S2, in dem erneut der Strom I_o gemessen wird.

[0039] Durch die Steuereinheit **120** der Schutz-einrichtung **100** wird der Strom I_o permanent bzw. wiederholt gemessen (Schritt S2). Wenn, z. B. zu Wartungsarbeiten oder im Gefahrenfall der Wechselrichter **4** abgeschaltet wird oder vom Stromversorgungsnetz **5** getrennt wird, nimmt er gleichspannungsseitig keine elektrische Leistung mehr auf. Der Strom durch die Gleichstromleitungen **3** geht auf Null zurück und wird insbesondere kleiner als der untere Schwellenwert I_{su} . Dieses wird im Schritt S3 wiederum von der Schutz-einrichtung **100** detektiert, wobei im danach ausgeführten Schritt S4 das Schaltorgan **110** abgeschaltet wird. Als Ausgangsspannung U_o liegt dann wiederum nur die ungefährliche Kleinspannung U_s an.

[0040] Der obere Schwellenwert I_{so} kann gleich dem unteren Schwellenwert I_{su} gewählt sein. Bevorzugt ist jedoch, dass der obere Schwellenwert I_{so} größer als der untere Schwellenwert I_{su} ist. Dadurch wird eine Schalthysterese eingeführt, die ein definiertes Umschalten zwischen den beiden Schaltzuständen des Schaltorgans **110** unterstützt. In einem Fall, in dem der Strom I_o weder den unteren Schwellenwert unterschreitet, noch den oberen Schwellenwert erreicht oder überschreitet, erfolgt ein direkter Rücksprung zum Schritt S2, in dem erneut der Strom I_o gemessen wird, ohne eine vorherige Verzweigung zu einem der Schritte S4 oder S6.

[0041] Das Beaufschlagen der Gleichstromleitungen **3** mit der Kleinspannung U_s befähigt die Schutz-einrichtung **100** anhand der vorgenommenen Strom-messung zur Detektion einer Leistungsanforderung durch den Wechselrichter **4**, ohne dass zusätzli-che Steuerleitungen oder aufmodulierte Steuersigna-le dazu notwendig wären. Die langen und häufig ex-ponierten Gleichstromleitungen **3** tragen so nur in einem normalen Betriebszustand, in dem von kei-ner Gefährdung durch hohe Spannungen auf den Gleichstromleitungen **3** und großen fließenden Strö-men auszugehen ist, die volle Gleichspannung des PV-Generators **1**.

[0042] Im Gefahrenfall ist das übliche Vorgehen ei-ner Feuerwehr, eine Brandstätte vor einem Löschein-satz vom Stromversorgungsnetz zu trennen. Bei ei-ner PV-Anlage wird erst durch die Schutzschaltung erreicht, dass ein an die übliche Vorgehensweise an-gelehntes Trennen der Wechselrichter vom Wechsel-spannungsnetz auch tatsächlich eine ausreichende Maßnahme darstellt, um zumindest die exponierten gleichstromseitigen Komponenten, wie die Gleich-stromleitungen **3** und den Wechselrichter **4** selbst, von der gefährlich hohen vom PV-Generator erzeug-ten Gleichspannung zu trennen.

[0043] In einer alternativen Ausgestaltung der Schutz-einrichtung bzw. des Verfahrens ist vorgese-hen, das Schaltorgan **110** erst einzuschalten, wenn ein vorbestimmtes Muster an Pulsen, während derer der Strom I_o jeweils größer oder gleich dem oberen Schwellenwert I_{so} ist, detektiert wird. Dieses „kodier-te“ Einschalten kann unbeabsichtigtes Einschalten, z. B. durch Ströme, die als Folge von einer defekten Isolierung auch in einem Gefahrenfall fließen, verhin-dern.

[0044] Es ist bekannt, integriert in PV-Module, z. B. in eine Anschlussdose des PV-Moduls, Gleichspan-nungswandler vorzusehen, die beispielsweise im Be-trieb als Hochsetzsteller arbeiten. Ein solcher Gleich-spannungswandler kann im Sinne der Anmeldung als Schutz-einrichtung fungieren und ein Verfahren, wie es im Zusammenhang mit [Fig. 2](#) beschrieben ist, ausführen. Dazu ist der Gleichspannungswand-ler so eingerichtet, dass er an seinem Ausgang zu-nächst die Kleinspannung U_s einstellt. Erst wenn ein über dem oberen Schwellenwert I_{so} liegender Strom I_o festgestellt wird, wird der Gleichspannungswand-ler in eifern normalen Betriebszustand zur Abgabe der im Wesentlichen gesamten Leistung des PV-Moduls (von Wandelverlusten sei abgesehen) be-trieben. In diesem Betriebszustand wird am Aus-gang des Gleichspannungswandlers eine Betriebs-spannung eingestellt, die in ihrer Höhe nicht auf den Bereich der Schutzkleinspannungen beschränkt ist. Entsprechend wird nach Unterschreiten des unteren Stromschwellenwertes I_{su} von der Betriebsspannung wieder auf die Kleinspannung U_s umgestellt.

[0045] [Fig. 3](#) zeigt den Aufbau einer Schutz-einrichtung **100** in einem weiteren Ausführungsbeispiel in ei-nem detaillierten Schaltbild. Gleiche Bezugszeichen kennzeichnen in dieser wie in den folgenden Figuren gleiche und gleich wirkende Elemente wie in [Fig. 1](#).

[0046] Beispielhaft ist die Schutz-einrichtung **100** mit ihren Eingängen **101** und **102** über Anschlusslei-tungen **2** wiederum mit einem PV-Generator **1** verbun-den, der als einzelne Photovoltaikzelle symbolisiert ist. Es gilt das zu [Fig. 1](#) gesagte in diesem wie auch in folgenden Ausführungsbeispielen, demzufolge es sich bei dem PV-Generator **1** um ein oder mehre-re, insbesondere reihenverschaltete PV-Module han-deln kann.

[0047] Neben den Eingängen **101** und **102** weist die Schutz-einrichtung **100** Ausgänge **103** und **104** auf. Während der Ausgang **103** dauerhaft über ei-nen Strommesswiderstand (Shunt) **131** niederohmig mit dem Eingang **101** verbunden ist, ist der Ausgang **104** schaltbar über das Schaltorgan **110** mit dem Ein-gang **102** verbindbar. Das Schaltorgan **110** ist sym-bolisch als ansteuerbarer Schalter wiedergegeben, be-vorzugt ist das Schaltorgan **110** als Halbleiterschalter ausgeführt, z. B. in Form eines IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) oder eines MOSFET (Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor). Das Schaltorgan **110** kann wie dargestellt den Ausgang **104** schalten. Es ist aber ebenso möglich, mittels des Schaltorgans **110** den Ausgang **103** oder auch, in einer mehrpoligen Ausführung des Schaltorgans **110**, beide Ausgänge **103**, **104** zu schalten. Auch kann, beispielsweise zur Erhöhung der Schaltsicher-heit, vorgesehen sein, mehrere Schalter, beispie-lsweise Halbleiterschalter, in einer Reihenverschaltung als Schaltorgan **110** einzusetzen.

[0048] Parallel zur Schaltstrecke des Schaltorgans **110** ist eine Diode **111** angeordnet. Die Diode **111** schützt ein als Halbleiterschalter ausgeführtes Schal-torgan **110** vor zu hohen Sperrspannungen, die auf-treten könnten, wenn der PV-Generator **1** verschaffet ist, aber über die Ausgänge **103**, **104** Spannung an-liegt, z. B. aufgrund eines Kondensators im Gleich-stromeingangskreis des Wechselrichters. Je nach verwendetem Halbleiterschalter ist die Diode **111** auf-grund des inneren Aufbaus des Halbleiters bereits im Halbleiterschalter integriert. Sie wird in eifern solchen Fall auch als intrinsische Diode bezeichnet.

[0049] Eine weitere Diode **112** ist antiparallel zu den Ausgängen **103**, **104** geschaltet. Sie dient als By-passdiode für einen Anwendungsfall, in dem mehrere PV-Generatoren **1** mit jeweils eigenen Schutzschal-tungen **100** in Serie verschaltet sind. Eine solche An-lagenkonzeption wird auch im Zusammenhang mit [Fig. 4](#) näher erläutert.

[0050] Zusammen mit einem Schwellenwertschalter **132** bildet der Strommesswiderstand **131** eine Strommesseinrichtung **130**. Am Eingang des Schwellenwertschalters **132** stellt sich gegenüber einem für die Schutzeinrichtung **100** geltenden Bezugspotenzial GND eine zum Strom I_0 proportionale Spannung ein. Diese wird im Schwellenwertschalter **132** mit einer zu einem vorgegebenen Strom I_s korrespondierenden Spannung verglichen. Der Ausgang des Schwellenwertschalters **132** wird mit einer Spannung beaufschlagt, wenn der Strom I_0 den vorgegebenen Schwellenwert I_s überschreitet. Zur sicheren Erkennung und zum Erreichen von definierten Schaltzuständen kann dabei eine Hysterese im Schaltvorgang vorgesehen sein. Wie bereits im Zusammenhang mit [Fig. 2](#) beschrieben ist, sind dann ein unterer und ein oberer Schwellenwert I_{su} , I_{so} vorgegeben, die voneinander abweichen. Die Schwellenwerte sind so gewählt, dass ein Einschalten des Schaltorgans **110** bei Berührung einer der Gleichstromleitungen **3** oder bei einem stark verringerten Isolationswiderstand der Gleichstromleitungen **3** oder des Gleichstromeingangs des Wechselrichters **4**, z. B. durch Löschwasser, ausgeschlossen ist.

[0051] Der Schwellenwertschalter **132** ist mit einem Zeitglied **133** verbunden, dessen Ausgang dann mit einer von Null verschiedenen Spannung beaufschlagt wird, wenn an seinem Eingang länger als ein vorgegebener Zeitraum t_x das von Null verschiedene Signal anliegt. Von dem Ausgang des Zeitglieds **133** wird das Schaltorgan **110** geschaltet. Das Zeitglied **133** schließt aus, dass kurze Störspannungsimpulse, die beispielsweise in den Gleichstromleitungen **3** induziert werden, zum Schalten des Schaltorgans **110** führen. Erst wenn ein länger als der vorgegebene Zeitraum t_x , z. B. länger als einige hundert Millisekunden oder einige Sekunden, andauernder Stromfluss I_0 größer I_s detektiert wird, schaltet das Schaltorgan **110** ein, wobei ggf. eine weitere Zeitverzögerung vor dem Einschalten durchlaufen wird. Die weitere Zeitverzögerung stellt sicher, dass bei mehreren parallel geschalteten Schutzeinrichtungen **100** ein Einschalten einer ersten Schutzeinrichtung **100** nicht den Stromfluss an den Ausgängen **103**, **104** der weiteren Schutzeinrichtungen **100** vor dem Ablauf des jeweiligen vorgegebenen Zeitraums t_x unterbricht.

[0052] Aus Sicherheitsgründen ist im umgekehrten Fall, dem Absinken des Stromes I_0 unter den Schwellenwert I_s , vorteilhaft keine Zeitverzögerung vorgesehen. In diesem Fall schaltet das Schaltorgan **110** unmittelbar nach Unterschreiten der Schaltschwelle ab und schaltet erst wieder ein, wenn die Schaltschwelle länger als der vorgegebene Zeitraum t_x überschritten wird.

[0053] Im Ausführungsbeispiel der [Fig. 3](#) wird die Kleinspannung U_s über einen Gleichspannungs-

wandler (DC/DC-Wandler) **140** aus der Eingangsspannung U_i erzeugt. Die Kleinspannung U_s wird mit ihrem negativen Pol mit dem Bezugspotential GND verbunden und mit ihrem positiven Pol über einen Vorwiderstand **141** und eine Diode **142** auf den Ausgang **104** geführt. Die Diode **142** verhindert einen Stromrückfluss in den DC/DC-Wandler **140**, falls der Ausgang **104** mit einer über der Kleinspannung U_s liegenden Spannung beaufschlagt wird, z. B. wenn das Schaltorgan **110** eingeschaltet ist. Der Vorwiderstand **141** dient der Begrenzung des aufgrund der Kleinspannung U_s fließenden Stroms. Der Vorwiderstand **141** darf selbstverständlich nicht so groß gewählt werden, dass ein Stromfluss größer als der Schwellenwert I_s bei gegebener Höhe der Kleinspannung U_s nicht erreicht wird. Eine besondere Bedeutung erhält der Vorwiderstand **141** im Zusammenhang mit mehreren zusammengeschalteten, insbesondere parallel geschalteten Schutzeinrichtungen und im Zusammenhang mit einer Lichtbogenlöschung, wie im Zusammenhang mit [Fig. 6](#) beschrieben ist. Alternativ oder zusätzlich zum Vorwiderstand **141** kann der DC/DC-Wandler **140** auch aktiv geregelt strombegrenzt ausgeführt sein.

[0054] Alternativ zum DC/DC-Wandler **140** kann auch ein als Längs- oder Querregler ausgeführter Spannungsregler eingesetzt werden, um die Eingangsspannung U_i auf die Kleinspannung U_s zu begrenzen. Solche Regler sind einfacher im Aufbau, jedoch mit höheren Umwandlungsverlusten behaftet.

[0055] In einer weiteren Ausgestaltung ist eine Diode **111** nicht vorgesehen. Das Schaltorgan **110** öffnet bei Strömen I_0 kleiner oder gleich dem unteren Schwellenwert I_{su} und damit auch bei negativen Strömen (Rückströmen). Ohne die Diode **111** fließt bei geöffnetem Schaltorgan kein Rückstrom durch den PV-Generator **1**. Diese Funktionalität ist insbesondere bei einer Parallelschaltung von mehreren PV-Generatoren sinnvoll, da es hier andernfalls zu hohen Rückströmen in einem der PV-Generatoren kommen kann, z. B. durch eine Fehlverschaltung oder durch defekte Bypassdioden. Bei Einsatz einer Schutzschaltung, die einen Rückstrom unterbindet, kann auf die bislang bei einer Parallelverschaltung von PV-Generatoren, z. B. bei einer Parallelverschaltung von Strings, benutzte Sicherung verzichtet werden, wenn zu jedem der parallel zu verschaltenden PV-Generatoren eine derartige Schutzschaltung vorhanden ist. Falls Halbleiterschalter mit intrinsischen Dioden für das Schaltorgan **110** verwendet werden, können zwei solcher Halbleiterschalter bidirektional in Reihe verschaltet werden, um ein Schaltorgan **110** zu bilden, bei dem ein Rückstrom bei geöffnetem Schaltorgan **110** verhindert ist.

[0056] [Fig. 4](#) zeigt eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung, bei der mehrere PV-Generatoren **1** vorgesehen sind, denen jeweils eine Schutzeinrich-

tung **100** zugeordnet ist, mit der der jeweilige PV-Generator **1** verbunden ist. In einer solchen Konstellation mit mehreren PV-Generatoren **1** werden diese auch als PV-Teilgeneratoren **1** bezeichnet. Die Schutzeinrichtungen **100** sind mit ihren Ausgängen seriell verschaltet und die Serienschaltung der Schutzeinrichtungen **100** ist mit dem Wechselrichter **4** verbunden.

[0057] Für eine Anzahl N von auf diese Weise zusammengeschalteten PV-Teilgeneratoren **1** mit zugeordneter Schutzeinrichtung **100** ergibt sich eine Gesamtausgangsspannung U_o , mit der die Gleichstromleitungen **3** und der Eingang des Wechselrichters **4** beaufschlagt sind, als Summe der an den Ausgängen der Schutzeinrichtungen **100** anliegenden Spannungen U_o . Der von den einzelnen Schutzeinrichtungen **100** detektierte fließende Strom I_o ist für alle Schutzeinrichtungen gleich und entspricht dem in den Gleichstromleitungen **3** fließenden Strom I_o . Wenn dieser Strom I_o den Schwellenstrom I_s überschreitet, wird dieses unabhängig voneinander von jeder der Schutzeinrichtungen **100** detektiert, die daraufhin nach Ablauf der vorgegebenen Zeitspanne t_x die entsprechenden Schaltorgane **110** einschalten, woraufhin die von den jeweiligen PV-Generatoren **1** bereitgestellte elektrische Leistung zum Wechselrichter **4** übertragen werden kann.

[0058] Für die dargestellte serielle Verschaltung der Schutzeinrichtungen **100** ist es sinnvoll, eine jeweilige Kleinspannung U_s im Bereich von einigen Volt einzusetzen. Auch bei Verschaltung von beispielsweise zehn PV-Teilgeneratoren **1** liegt die sich im Gefahrenfall ergebende Spannung auf den Gleichstromleitungen **3** dann im Bereich von einigen 10 V, was immer noch unterhalb der als gefährlich angesehenen Grenzspannung von 120 V für Gleichspannungsquellen liegt. Wenn zudem die maximale Ausgangsspannung eines jeden PV-Teilgenerators **1** kleiner als diese als gefährlich angesehenen Grenzspannung von 120 V ist, liegt im Gefahrenfall an keiner Stelle der PV-Anlage eine gefährdende Spannung an, auch nicht innerhalb eines PV-Teilgenerators **1** oder auf den diesen mit der jeweiligen Schutzeinrichtung **100** verbindenden Leitungen.

[0059] Im Zusammenhang mit der in der [Fig. 4](#) gezeigten Anordnung ist es besonders vorteilhaft, ein einzelnes PV-Modul als PV-Teilgenerator **1** einzusetzen und die jeweilige Schutzeinrichtung **100** integriert in dieses PV-Modul, z. B. integriert in eine Anschlussdose des PV-Moduls, anzuordnen. Üblicherweise liegt bei einem PV-Modul die Maximalspannung unterhalb der Grenzspannung von 120 V. Auf diese Weise wird ein PV-Modul geschaffen, das wie ein bekanntes PV-Modul, das keine Schutzeinrichtung aufweist, innerhalb einer PV-Anlage z. B. reihenverschaltet zur Bildung eines Strings mit einem Wechselrichter **4** verbunden werden kann, wobei im

Gefahrenfall an keiner Stelle der PV-Anlage eine gefährdende Spannung anliegt.

[0060] Die Anschlussdose kann zudem spritzwassergeschützt ausgeführt werden. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass Anschlussleitungen, die innerhalb des PV-Moduls zu der Schutzeinrichtung **100** führen und an denen die ggf. hohe Ausgangsspannung des PV-Moduls unmittelbar anliegt, mit Löschwasser in Berührung kommen können. Somit wird auch mit PV-Modulen, deren maximale Ausgangsspannung über der genannten Grenzspannung von 120 V liegt, eine hohe Sicherheit im Gefahrenfall erreicht.

[0061] Alternativ zur oder kombiniert mit der Serienschaltung ist auch eine Parallelverschaltung von PV-Generatoren **1** mit jeweils zugeordneten Schutz-einrichtungen **100** möglich. In einem solchen Fall ist zu bedenken, dass sich der durch den Wechselrichter und die Gleichstromleitungen **3** fließende Strom auf die einzelnen Schutz-einrichtungen **100** aufteilt, sodass zum Initiieren des Einschaltens der einzelnen Schaltorgane **110** ein insgesamt größerer Stromfluss vom Wechselrichter **4** angefordert werden muss. Da die Kleinspannungen U_s der verschiedenen Schutz-einrichtungen **100** aufgrund von Bauteiltoleranzen der DC/DC-Wandler **140** nicht exakt gleich sein werden, könnte sich bei der Parallelverschaltung der Schutz-einrichtungen **100** eine stark ungleichmäßige Stromaufteilung auf die Schutz-einrichtungen **100** ergeben. Dieses wird durch den Vorwiderstand **141**, über den der Ausgang der DC/DC-Wandler **140** auf den Ausgang **104** der Schutz-einrichtung **100** geführt ist, verhindert.

[0062] [Fig. 5](#) zeigt das Schaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels der Schutz-einrichtung **100** in einer Darstellung analog zu [Fig. 3](#). Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel der [Fig. 3](#) ist hier ein weiterer Eingang **105** vorgesehen, der mit einem Spannungsabgriff am PV-Generator **1** verbunden ist. Der Spannungsabgriff am PV-Generator **1** greift eine Teilspannung der eigentlichen Ausgangsspannung ab.

[0063] Wenn der PV-Generator **1** beispielsweise eine Anordnung aus mehreren seriell verschalteten PV-Modulen ist, kann der Abgriff zwischen zwei der PV-Module ausgeführt sein. Bilden beispielsweise zehn in Serie verschaltete PV-Module den PV-Generator **1**, kann der Abgriff zwischen dem ersten und dem zweiten PV-Modul vorgenommen sein, sodass die am Abgriff anliegende Spannung bei gleichmäßiger Einstrahlung über alle PV-Module des PV-Generators **1** ein zehntel der vom PV-Generator **1** insgesamt bereitgestellten Spannung beträgt.

[0064] Die abgegriffene Spannung wird am Eingang **105** als Kleinspannung U_s der Schutz-einrichtung **100** zugeführt, von wo sie wieder über den Vorwiderstand

141 und die Diode **142** auf den Ausgang **104** der Schutzeinrichtung **100** gelegt wird. Durch die dargestellte Verschaltung kann die Schutzeinrichtung **100** ohne zusätzlichen Bauteilaufwand und ohne die mit einem DC/DC-Wandler oder einem Spannungsregler verbundenen Verluste, bzw. mit geringeren dieser Verluste, die Kleinspannung U_s bereitstellen.

[0065] Die Bereitstellung der Kleinspannung U_s über einen Spannungsabgriff kann in einer alternativen Ausgestaltung auch vorgenommen werden, wenn wie in **Fig. 4** gezeigt mehrere PV-Teilgeneratoren **1** mit jeweils einer eigenen zugordneten Schutzeinrichtung **100** seriell verschaltet werden. Dieses bietet sich insbesondere an, wenn als PV-Teilgeneratoren **1** einzelne PV-Module eingesetzt werden und die Schutzeinrichtung **100** in einer Anschlussdose des PV-Moduls angeordnet ist. Die PV-Zellen von PV-Modulen sind häufig zu mehreren Gruppen, z. B. drei Gruppen, zusammengefasst, wobei die PV-Zellen einer Gruppe innerhalb der Zellenanordnung reihenverschaltet sind. Die Anschlüsse der einzelnen Gruppen sind separat in die Anschlussdose geführt, wo sie dann seriell miteinander verbunden sind, wobei üblicherweise antiparallel zu jeder Gruppe eine Bypass-Diode vorgesehen ist. Somit sind Abgriffe des PV-Moduls, die Teilspannungen führen, bereits in der Anschlussdose verfügbar. Einer dieser Abgriffe kann an den weiteren Eingang **105** geführt werden, um auf einfache Weise die Kleinspannung U_s aus dieser Teilspannung abzuleiten.

[0066] **Fig. 6** zeigt eine weitere Ausgestaltung der Schutzeinrichtung **100** in einem Schaltbild analog zu **Fig. 3**. Im Unterschied zu den vorherigen Ausführungsbeispielen dient die hier dargestellte Schutzeinrichtung nicht nur der Abschaltung einer gefährlich hohen Gleichspannung auf den Gleichstromleitungen, sondern auch der Löschung eines Lichtbogens im Stromfluss zwischen dem PV-Generator **1** und dem Wechselrichter **4**. Zu diesem Zweck ist eine Einrichtung zur Lichtbogenerkennung **150** vorgesehen, die beispielsweise einen Bandpassfilter **151** und einen nachgeschalteten Hüllkurvendetektor (Envelope Decoder) **152** aufweist. Andere Methoden zur Lichtbogenerkennung können ebenfalls eingesetzt werden.

[0067] Beim Abbrennen eines Lichtbogens zwischen zwei benachbarten Kontaktstellen bildet sich ein stark ionisiertes brennendes Plasma aus, über das der Stromfluss stattfindet. Der Stromfluss über einen Lichtbogen ist üblicherweise nicht konstant, sondern fluktuiert mit starken hochfrequenten Anteilen. Wenn sich an irgendeiner Stelle im Stromfluss zwischen dem PV-Generator **1** und dem Wechselrichter **4** ein Lichtbogen ausbildet, sind die Gleichspannungsleitungen **3** mit einem stark ausgeprägten hochfrequenten Störspektrum beaufschlagt. Das Vorliegen der hochfrequenten Störungen in einem für

Lichtbögen charakteristischen Frequenzbereich wird durch den Bandpassfilter **151** und den nachfolgenden Hüllkurvendetektor **152** detektiert. Am Ausgang des Hüllkurvendetektors **152** liegt ein von Null verschiedenes Spannungssignal an, wenn ein Lichtbogen detektiert wird.

[0068] Der Ausgang des Hüllkurvendetektors **152** und der Ausgang des Zeitglieds **133** werden über ein logisches Und-Schaltelement **153** miteinander kombiniert, wobei der mit dem Hüllkurvendetektor **152** verbundene Eingang negiert ausgeführt ist. Der Ausgang des Und-Schaltelements **153** steuert das Schaltorgan **110**. Als Folge dieser logischen Verknüpfung wird das Schaltorgan **110** eingeschaltet, wenn zum einen ein über einem oberen Schwellenwert I_{so} liegender Stromfluss I_o für länger als der vorgegebene Zeitraum t_x vorliegt und zum anderen kein Lichtbogen detektiert wird. Umgekehrt trennt das Schaltorgan **110** den Ausgang **104** von dem Eingang **102** ab, wenn ein Stromfluss I_o kleiner als ein unterer Schwellenwert I_{su} beobachtet wird oder wenn ein Lichtbogen im Gleichstromkreis detektiert wird. Nach Trennung des Ausgangs **104** von dem Eingang **102** liegt an den Ausgängen **103**, **104** wiederum nur die Kleinspannung U_s an. Aufgrund des Vorwiderstandes **141** liefert die Schutzschaltung **100** in diesem Fall keinen zur Aufrechterhaltung des Lichtbogens ausreichenden Strom, sodass der Lichtbogen gelöscht wird. In Ausführungsbeispielen, in denen kein Vorwiderstand **141** vorhanden ist, wird gleiches durch eine dann vorgesehene Strombegrenzung des DC/DC-Wandlers **140** erreicht.

Bezugszeichenliste

1	PV-Generator
2	Anschlussleitungen
3	Gleichstromleitungen
4	Wechselrichter
5	Stromversorgungsnetz
100	Schutzeinrichtung
101, 102	Eingang
103, 104	Ausgang
105	weiterer Eingang
110	Schaltorgan
111	Diode
112	weitere Diode
120	Steuereinheit
130	Strommesseinrichtung
131	Strommesswiderstand
132	Schwellenwertschalter
133	Zeitglied
140	Gleichspannungswandler
141	Vorwiderstand
142	Diode
150	Einrichtung zur Lichtbogenerkennung
151	Bandpassfilter
152	Hüllkurvendetektor
153	UND-Schaltelement

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102005018173 A1 [\[0005\]](#)
- DE 102006060815 A1 [\[0006\]](#)

Patentansprüche

1. Schutzeinrichtung (**100**) für eine Photovoltaikanlage, aufweisend

- mindestens einen Eingang (**101, 102**) zur Verbindung mit einem Photovoltaikgenerator (**1**) und
- mindestens einen Ausgang (**103, 104**) zur Abgabe eines von dem Photovoltaikgenerator (**1**) gelieferten Stroms (I_o),

dadurch gekennzeichnet, dass

die Schutzeinrichtung (**100**) eine Strommesseinrichtung (**130**) für einen an dem mindestens einen Ausgang (**103, 104**) abgegebenen Strom (I_o) umfasst und dazu eingerichtet ist,

- an dem mindestens einen Ausgang (**103, 104**) eine in ihrer Höhe begrenzte Kleinspannung (U_s) bereitzustellen, falls der abgegebene Strom (I_o) kleiner als ein unterer Schwellenwert (I_{su}) ist und

- den mindestens einen Ausgang (**103, 104**) über ein Schaltorgan (**110**) niederohmig mit dem mindestens einen Eingang (**101, 102**) zu verbinden, wenn der abgegebene Strom (I_o) größer oder gleich einem oberen Schwellenwert (I_{so}) ist, wobei der obere Schwellenwert (I_{so}) größer oder gleich dem unteren Schwellenwert (I_{su}) ist.

2. Schutzeinrichtung (**100**) nach Anspruch 1, aufweisend einen weiteren, Eingang (**105**), um eine Teilspannung des Photovoltaikgenerators (**1**) zur unmittelbaren Bereitstellung oder zur Erzeugung der Kleinspannung (U_s) zuzuführen.

3. Schutzeinrichtung (**100**) nach Anspruch 1 oder 2, aufweisend einen DC/DC-Wandler (**140**), einen Längsregler oder einen Querregler zur Begrenzung der Kleinspannung (U_s).

4. Schutzeinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der die Kleinspannung (U_s) über einen Vorwiderstand (**141**) hochohmig auf den mindestens einen Ausgang (**103, 104**) geschaltet ist.

5. Schutzeinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Kleinspannung (U_s) über eine Diode (**142**) auf den mindestens einen Ausgang (**103, 104**) geschaltet ist.

6. Schutzeinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der das Schaltorgan (**110**) ein Halbleiterschalter ist.

7. Schutzeinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der die Strommesseinrichtung (**130**) einen Shunt (**131**) zur Strommessung und einen Schwellenwertschalter (**132**), bevorzugt mit einer Schalthysterese, aufweist.

8. Schutzeinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der ein Zeitglied (**133**) mit der Strommesseinrichtung (**130**) verbunden ist, durch das die

Ansteuerung des Schaltorgans (**110**) derart verzögert wird, dass ein Einschalten des Schaltorgans (**110**) erst erfolgt wenn der abgegebene Strom (I_o) länger als ein vorgegebener Zeitraum (t_x) größer als der Schwellenwert (I_s) ist.

9. Schutzeinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, aufweisend eine Einrichtung zur Lichtbogenerkennung (**150**), die mit dem Schaltorgan (**110**) zu dessen Steuerung verbunden ist.

10. Schutzeinrichtung (**100**) nach Anspruch 9, bei der die Einrichtung zur Lichtbogenerkennung (**150**) derart mit dem Schaltorgan (**110**) verbunden ist, dass das Schaltorgan (**110**) trennt, wenn ein Lichtbogen erkannt wird.

11. Schutzeinrichtung (**100**) nach Anspruch 9 oder 10, bei der die Einrichtung zur Lichtbogenerkennung (**150**) einen Bandpassfilter (**151**) und einen Hüllkurvendetektor (**152**) umfasst.

12. Photovoltaikmodul, gekennzeichnet durch eine integrierte Schutzeinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

13. Photovoltaikmodul nach Anspruch 12, bei dem die Schutzeinrichtung (**100**) in einer Anschlussdose des Photovoltaikmoduls angeordnet ist.

14. Photovoltaikmodul nach Anspruch 13, bei dem die Schutzeinrichtung (**100**) einen weiteren Eingang (**105**) aufweist, der mit einem Teilabgriff des Photovoltaikmoduls verbunden ist, um eine Teilspannung des Photovoltaikgenerators (**1**) zur unmittelbaren Bereitstellung oder zur Erzeugung der Kleinspannung (U_s) zuzuführen.

15. Betriebsverfahren für eine Schutzeinrichtung (**100**) einer Photovoltaikanlage, die mindestens einen Eingang (**101, 102**) zur Verbindung mit einem Photovoltaikgenerator (**1**) und mindestens einen Ausgang (**103, 104**) zur Abgabe einer von dem Photovoltaikgenerator (**1**) bereitgestellten elektrischen Leistung aufweist, mit den Schritten:

- Beaufschlagen des mindestens einen Ausgangs (**103, 104**) mit einer Kleinspannung (U_s);

- Messen eines an dem mindestens einen Ausgang (**103, 104**) abgegebenen Stroms (I_o);

- Beaufschlagen des mindestens einen Ausgangs (**103, 104**) mit einer Betriebsspannung zur Abgabe der gesamten von dem Photovoltaikgenerator (**1**) bereitgestellten elektrischen Leistung, wenn der abgegebene Strom (I_o) größer oder gleich einem oberen Schwellenwert (I_{so}) ist; und

- Beaufschlagen des mindestens einen Ausgangs (**103, 104**) mit der Kleinspannung (U_s), wenn der abgegebene Strom (I_o) kleiner als ein unterer Schwellenwert (I_{su}) ist, wobei der untere Schwellenwert (I_{su})

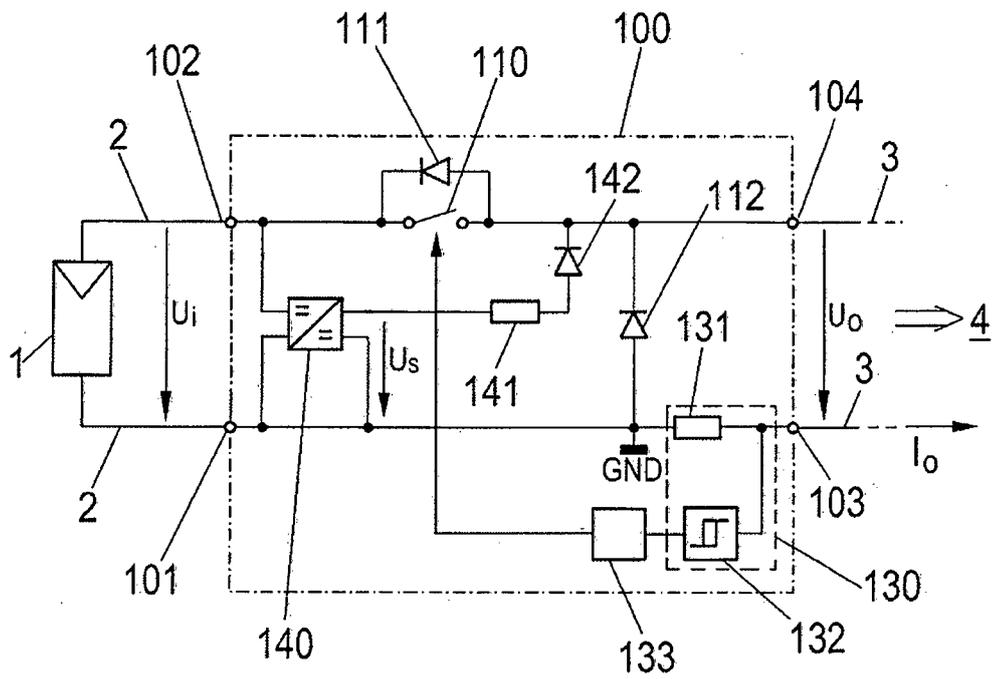
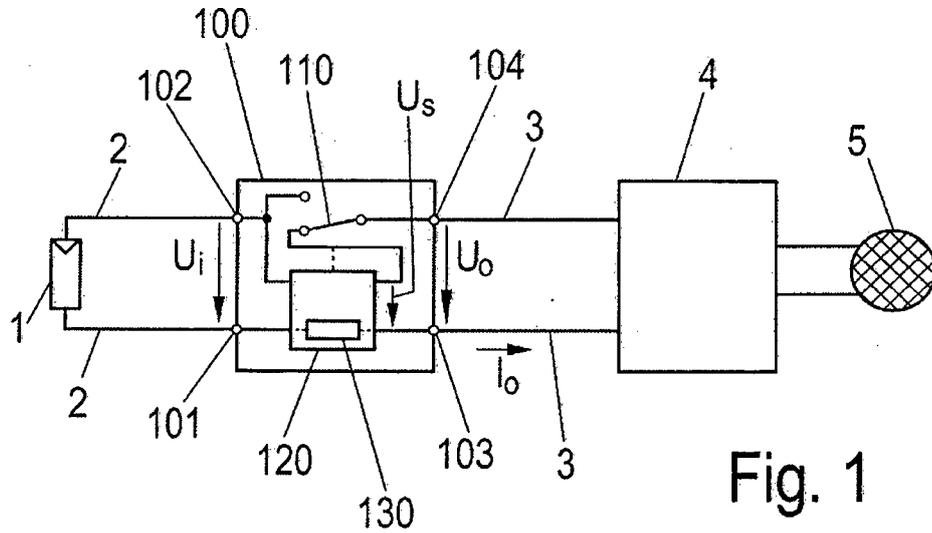
kleiner oder gleich dem oberen Schwellenwert (Iso) ist.

16. Betriebsverfahren nach Anspruch 15, mit den weiteren Schritten:

- Überwachen, ob an dem mindestens einen Ausgang (**103**, **104**) ein Signal anliegt, das für das Vorhandensein eines Lichtbogens charakteristisch ist; und
- Beaufschlagen des mindestens einen Ausgangs (**103**, **104**) mit der Kleinspannung (U_s) beim Vorhandensein eines solchen Signals.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



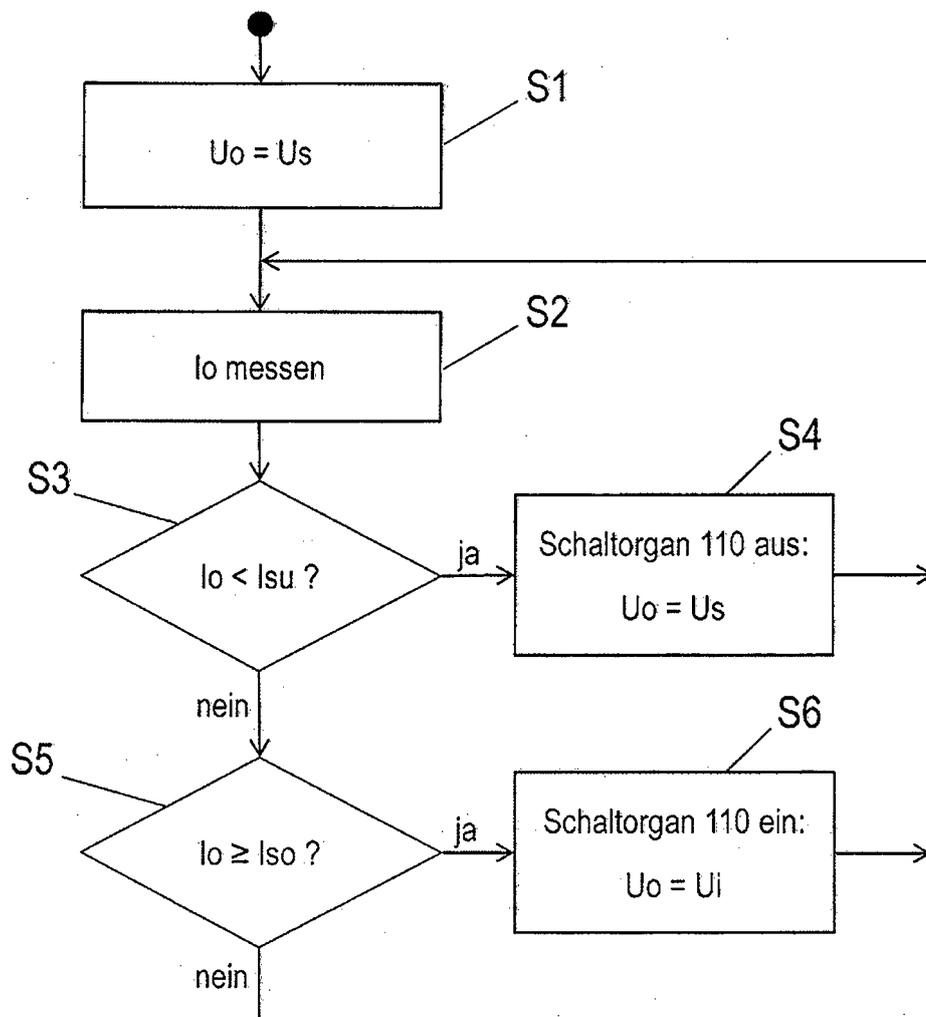
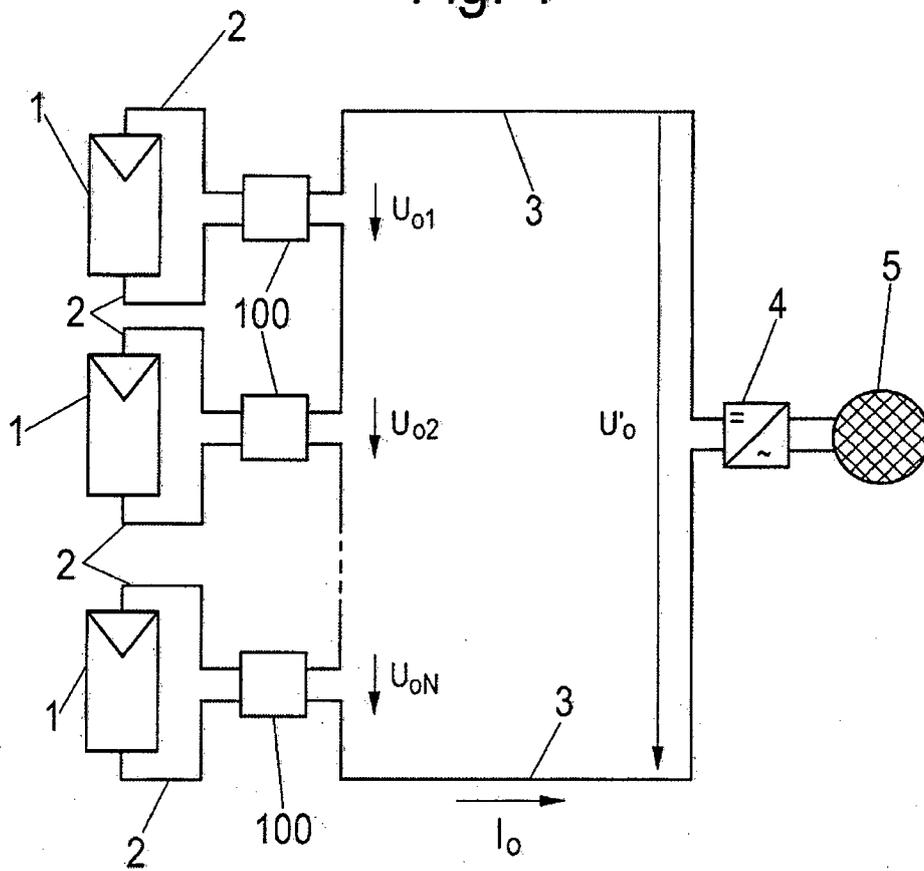


Fig. 2

Fig. 4



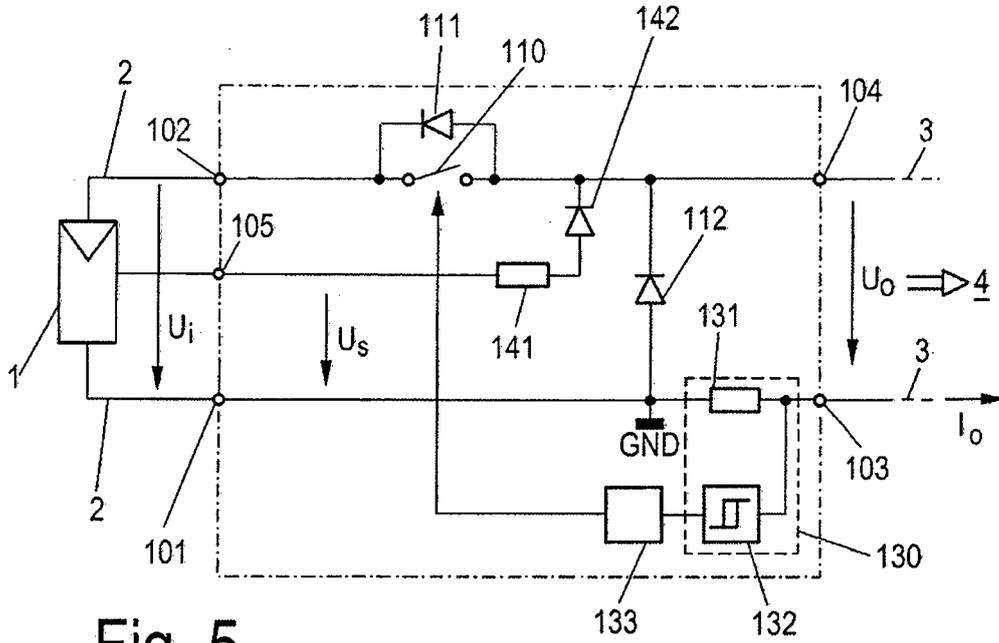


Fig. 5

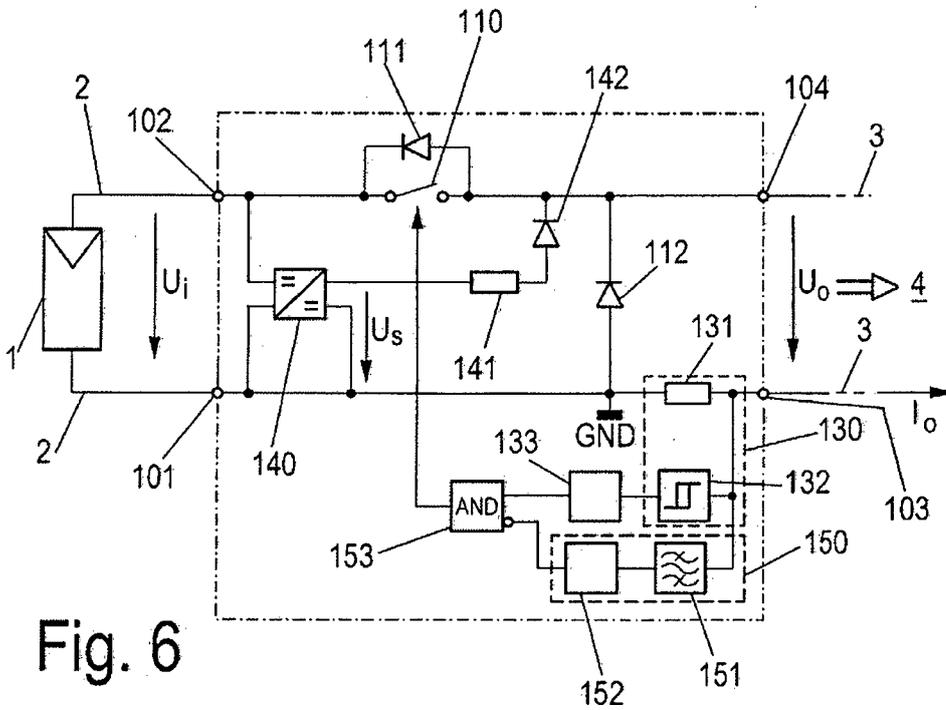


Fig. 6